

PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK HIDROLOGI DI DAS SAMPEAN KABUPATEN BONDOWOSO

THE EFFECT OF LAND COVER CHANGES ON HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS IN SAMPEAN WATERSHED BONDOWOSO DISTRICT

¹Arif Darmawan Pribadi, ²Rita Dwi Kusumawati, ³Atika Audia Firdausi

^{1,2,3}Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR

¹arifdpteknik@gmail.com ²rita.dwikusuma@gmail.com ³atikaaudia@gmail.com

Abstrak

DAS Sampean di Kabupaten Bondowoso memiliki luas 1.248 km². Selama 20 tahun terakhir, perkembangan ekonomi yang pesat telah menyebabkan konversi lahan dari area hijau ke lahan pengembangan yang menyebabkan kemampuan infiltrasi tanah menurun. Data yang tercatat periode waktu tahun 2002-2017 terjadi kenaikan debit harian sebesar 4 m³/s dan debit maksimum tahunan harian sebesar 42 m³/s, sedangkan kondisi curah hujan yang tercatat pada wilayah DAS Sampean mengalami tren penurunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari perubahan tutupan lahan terhadap debit aliran sungai, disimulasikan menggunakan model SWAT (Soil and Water Assessment Tools). Perubahan tutupan lahan juga mengakibatkan penurunan aliran dasar sebesar 104,99 mm. Data debit pengamatan, curah hujan, dan tutupan lahan dari Tahun 2003 hingga 2016 digunakan untuk kalibrasi model dan verifikasi. Hasilnya menunjukkan perubahan tutupan lahan yang terjadi selama tiga belas tahun terakhir di DAS Sampean mengakibatkan peningkatan aliran permukaan (SUR_Q) 35.81 mm, total air sungai (WYLD) meningkat 114 mm, debit maksimum per bulan meningkat 15,93 m³/s. Studi ini menggarisbawahi pentingnya faktor tutupan lahan sebagai Daerah Resapan Air (DRA) dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur kawasan di masa depan pada DAS Sampean, Kabupaten Bondowoso.

Kata kunci: DAS Sampean; Tutupan Lahan; Hidrologi; SWAT

Abstract

Sampean watershed in Bondowoso Regency has an area of 1,248 km². Over the past 20 years, rapid economic development has led to the conversion of land from green areas to development land causing the ability of soil infiltration to decline. Data recorded in 2002-2017 time period has increase in daily discharges of 4 m³/s and daily annual maximum discharges of 42 m³/s, while rainfall conditions recorded in the Sampean watershed region experienced a downward trend. Based on these conditions, it means that the absorption capacity in the Sampean watershed has decreased. The study aims to determine the impact of changes in land cover on river flow, simulated using SWAT model (Soil and Water Assessment Tool). The changes in land cover also cause a base flow decrease by 104,99 mm. Observation discharge, rainfall, and land cover from 2003 to 2016 were used for calibration model and verification. The results show changes in land cover that occurred during the last thirteen years in the Sampean watershed resulted in an increase in surface runoff (SUR_Q) of 35.81 mm, total river water (WYLD) increased 114 mm, maximum monthly discharge increased by 15.93 m³/s. Changes in land cover also resulted in a decrease in base flow by 291.57 mm. This study underscores the importance of land cover as a water catchment area in the future planning and management of infrastructure in the Sampean watershed, Bondowoso Regency.

Keywords: Sampean Watershed; Land Cover; Hydrology; SWAT

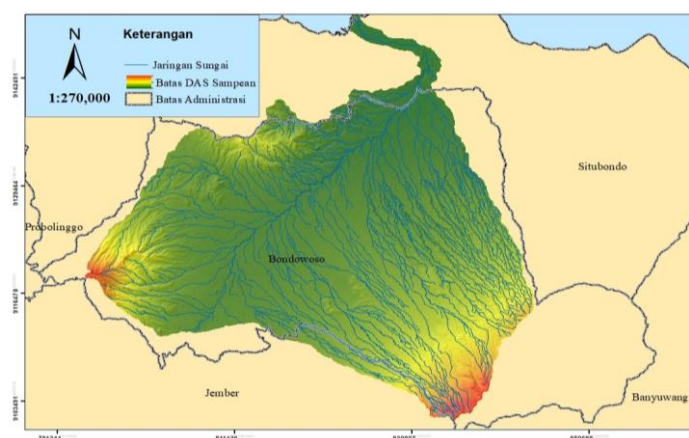
PENDAHULUAN

Jumlah penduduk di Kabupaten Bondowoso berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bondowoso mencapai 676.796 jiwa pada tahun 1998 dan 769.225 jiwa pada tahun 2017. Kenaikan jumlah penduduk di Kabupaten Bondowoso tersebut meningkat 13,66% selama kurun waktu 20 tahun. Data kependudukan yang dikeluarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur Tahun 2017 menunjukkan laju pertumbuhan penduduk di Kabupaten Bondowoso menempati urutan ke 17 dari 38 kabupaten/kota yang ada di Provinsi Jawa Timur. Peningkatan jumlah penduduk dapat merubah orientasi pemanfaatan lahan. Perubahan lahan berupa alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman. Lahan persawahan, kebun campuran dan tegalan serta hutan berubah fungsi menjadi permukiman. Peningkatan kawasan perumahan diikuti perubahan tutupan lahan lain seperti berkurangnya hutan, kebun campuran, lahan terbuka dan lahan pertanian (Setyowati, 2010). Adanya alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian maupun untuk kebutuhan hutan produksi, juga terjadi di hulu DAS Sampean. Hal ini tentunya dapat menurunkan fungsi hutan sebagai pengendali hidrologi Daerah Aliran Sungai Sampean yang dapat mengakibatkan meningkatnya aliran permukaan (*runoff*). Peningkatan aliran permukaan

dapat berdampak pada luapan sungai yang terjadi akibat beban aliran buangan yang tidak dapat diakomodasi oleh kapasitas saluran, yang diakibatkan oleh debit tinggi dari limpasan curah hujan di DAS. Luapan air sungai tersebut dapat membawa lumpur dan merusak properti yang membawa kerugian besar bagi warga kota (Kusuma et al., 2011). Analisis karakteristik hidrologi DAS yang dipengaruhi oleh perubahan tutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan model hidrologi. Salah satu model hidrologi yang baik digunakan adalah model SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*). Aplikasi model SWAT digunakan untuk menganalisa perubahan tutupan lahan terhadap kondisi debit aliran sungai (Winchell et al., 2013). Dengan demikian diharapkan dapat diketahui pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit aliran Sungai Sampean.

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian ini dilakukan di DAS Sampean yang berada di Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Pada Penelitian ini bahan yang digunakan yaitu berupa peta dan data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai instansi terkait. Aplikasi yang digunakan yaitu ArcGIS, ArcSWAT, ArcView, *global mapper* dan GPS.



Gambar 1. Peta DAS Sampean

Tahapan dalam kajian pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap karakteristik hidrologi di DAS Sampean Kabupaten Bondowoso adalah sebagai berikut : Tahapan pertama adalah studi literatur dari berbagai sumber baik jurnal penelitian, maupun publikasi lainnya yang terkait dengan pembahasan penelitian. Kemudian pengumpulan data sekunder dari berbagai instansi terkait. Tahapan selanjutnya yaitu pemodelan hujan aliran, pembentukan konseptual model, menjalankan SWAT, kalibrasi dan validasi model. Penjelasan dari masing-masing tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan Hujan Aliran

Analisa curah hujan diperlukan untuk menentukan besarnya intensitas yang digunakan sebagai prediksi timbulnya curah hujan wilayah. Dalam penelitian ini data curah hujan yang digunakan yaitu berasal dari tiga puluh dua stasiun hujan yang berada di DAS Sampean.

2. Pembentukan Konseptual Model Sebagai Input

Sebelum melakukan pemodelan SWAT, beberapa data perlu diolah terlebih dahulu. Terdapat beberapa langkah dalam *pre-processing* data seperti pada Gambar 2

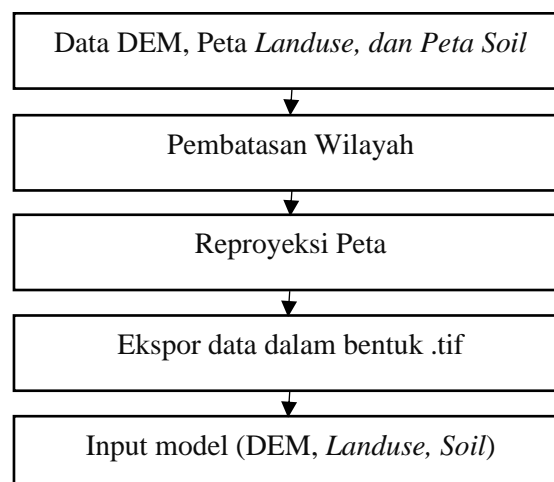
Setelah data awal diproses, data tersebut dapat digunakan dalam model. Berikut langkah-langkah dalam pengolahan dan tampilan konseptual untuk model SWAT. Adapun data-data yang menjadi data input pada model SWAT adalah:

- *Digital Elevation Model* (DEM)
- Data Tutupan Lahan
- Data Jenis Tanah
- Data Iklim

3. Menjalankan SWAT

Secara umum dalam menjalankan aplikasi SWAT terdapat beberapa langkah berikut ini.

- Delineasi daerah model, yang bertujuan untuk menghasilkan data model DAS, Sub DAS, dan jaringan sungai.
- Analisa HRU (*Hydrologic Response Unit*), merupakan unit analisis hidrologi yang dibentuk berdasarkan karakteristik tanah, tutupan lahan, dan kelas lereng yang spesifik.
- Pembuatan Basis Data Iklim, dilakukan masukan data iklim (*weather generator*), curah hujan (*rainfall*), temperatur, kelembaban (*relative humidity*), dan radiasi matahari (*solar radiation*), serta kecepatan angin (*wind speed*).
- Running Model



Gambar 2. Tampilan Konseptual untuk Model SWAT

4. Kalibrasi dan validasi Model

Data debit hasil observasi di DAS Sampean (Data debit dari UPT PSAWS Sampean), dan data debit hasil model (prediksi) dikalibrasikan dengan langkah – langkah:

- Menyandingkan data debit hasil model dengan data hasil observasi melihat pola kemiripannya.
- Menghitung nilai keakuratan model memprediksi debit dengan fungsi objektif. Salah satu fungsi objektif yang dapat digunakan adalah metode *Nash-sutcliffe*. Persamaan sebagai berikut :

$$NSE = \frac{\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2 - \sum (P_t - O_t)^2}{\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2}$$

Dimana O merupakan debit observasi / pengukuran (Data debit berasal dari UPT PSAWS Sampean, di Bondowoso) yang terukur (m3/detik), P adalah debit hasil simulasi (m3/detik). Menurut (D. N. Moriasi et al., 2007) dan (El-Sadek & Irvem, 2014), Efisiensi model Nash-Sutcliffe dikelompokkan menjadi empat kelas sebagai berikut :

1. Sangat Baik, jika $0,75 \leq NSE$
2. Baik, jika $0,65 \leq NSE \leq 0,75$
3. Memuaskan, jika $0,50 \leq NSE \leq 0,65$
4. Kurang memuaskan, jika $NSE \leq 0,50$

- Selain itu untuk melihat keakuratan pola hasil keluaran model dengan hasil obsevasi dilapangan digunakan Koefisien determinasi (R Square) atau persamaan linier (Ullrich & Volk, 2009):

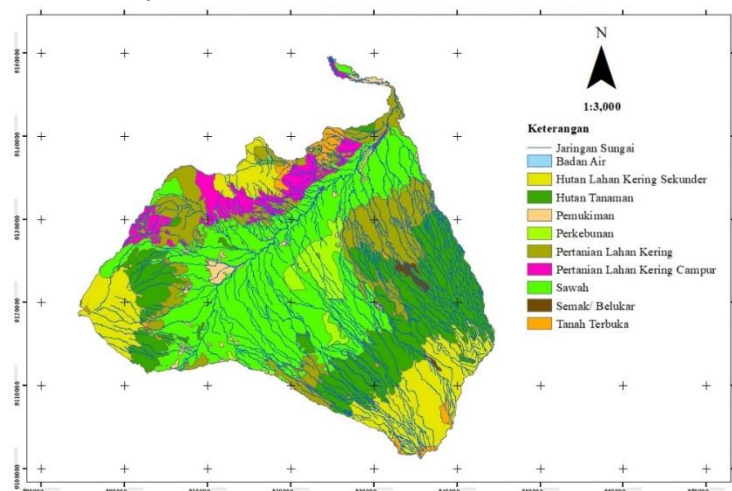
$$R^2 = \frac{\left[\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O}) - (P_t - \hat{P})^2 \right]}{\left[\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (P_t - \hat{P})^2 \right]}$$

Hasil perhitungan R^2 menunjukan evaluasi kelayakan model tersebut, apabila R^2 mendekati 1 maka terdapat pola hubungan yang erat antara hasil prediksi model dengan hasil observasi lapangan.

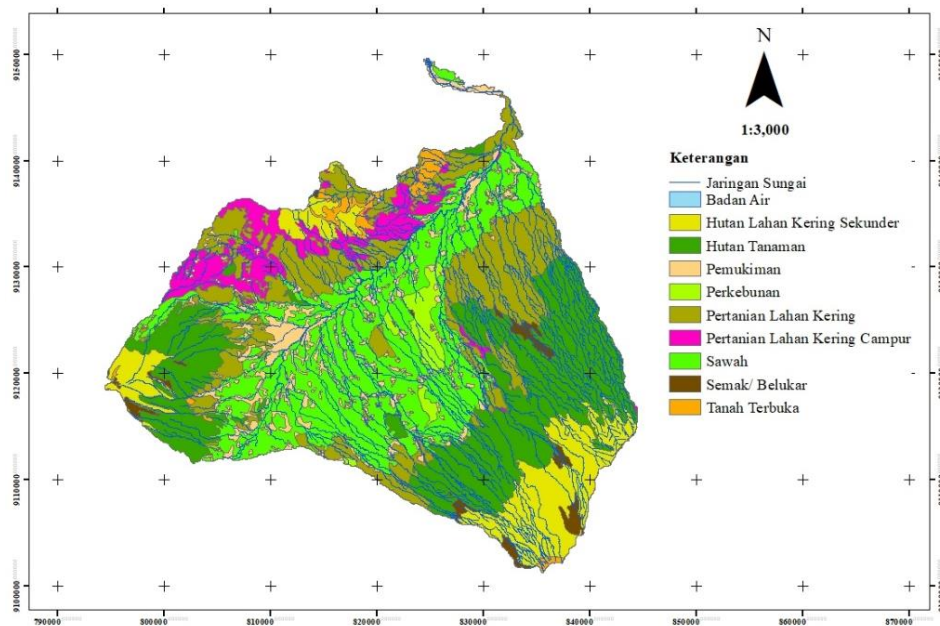
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Tutupan Lahan

Jika melihat dari data kondisi tutupan lahan DAS Sampean di Tahun 2003 (Gambar 3), fungsi lahan yang digunakan sebagian besar digunakan untuk lahan sawah, pertanian lahan kering dan kawasan hutan. Fungsi lahan terbesar di Tahun 2016 (Gambar 4) juga masih didominasi sawah, pertanian lahan kering dan kawasan hutan. Namun ada pengurangan luasan yang terjadi. Adapun klasifikasi dan deskripsi tutupan lahan pada SNI 7645-2010 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan DAS Sampean Tahun 2003

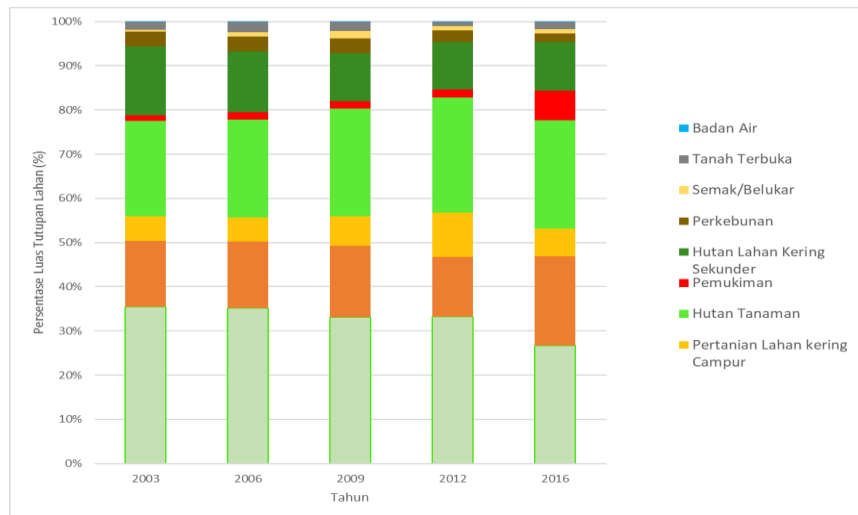


Gambar 4. Peta Tutupan Lahan DAS Sampean Tahun 2016

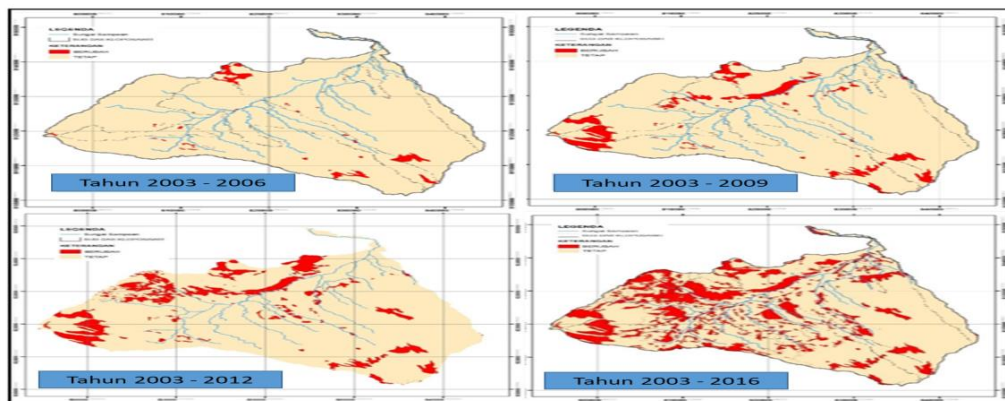
Tabel 1. Laju Perubahan Tutupan Lahan DAS Sampean Periode Tahun 2003-2016

| No | Jenis Tutupan Lahan | Perubahan Tutupan Lahan | | | |
|----|-------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|--------|
| | | Thn. 2003 | Thn. 2016 | Total Perubahan | |
| | | Ha | Ha | Ha | % |
| 1 | Badan Air | 12,02 | 12,02 | 0 | 0 |
| 2 | Hutan Lahan Kering Sekunder | 19.211,53 | 13.510,42 | -5.701,11 | -29,68 |
| 3 | Hutan Tanaman | 26.662,63 | 30.320,14 | 3.657,51 | 13,72 |
| 4 | Pemukiman | 1.627,99 | 8.229,57 | 6.601,58 | 405,50 |
| 5 | Perkebunan | 4.076,75 | 2.538,59 | -1.538,16 | -37,73 |
| 6 | Pertanian Lahan Kering | 18.581,00 | 24.944,60 | 6.363,60 | 34,25 |
| 7 | Pertanian Lahan Kering Campur | 6.838,88 | 7.869,22 | 1.030,34 | 15,07 |
| 8 | Sawah | 43.759,47 | 32.948,77 | -10.810,71 | -24,70 |
| 9 | Semak Belukar | 604,95 | 1.140,30 | 535,35 | 88,49 |
| 10 | Tanah Terbuka | 2.269,70 | 2.131,33 | -138,37 | -6,10 |

Sumber : Analisis Data BPDASHL Brantas-Sampean, 2020



Gambar 5. Tren Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2003, 2006, 2008, 2012, 2016 di DAS Sampean



Gambar 6. Tren Perubahan Tutupan Lahan di DAS Sampean Tahun 2003 – 2016

Pengolahan Data Hujan

Dalam penelitian ini menggunakan metode Rank Spearman untuk mengetahui apakah data hujan yang digunakan terdapat tren perubahan yang signifikan atau tidak. Apabila dalam data hujan yang digunakan selama 16 tahun menunjukkan adanya perubahan tren maka data tersebut tidak disarankan untuk digunakan dalam analisis hidrologi. Penggunaan metode Rank Spearman dalam perhitungan karena metode ini dapat digunakan untuk satu jenis variable hidrologi saja, dimana dalam hal ini yaitu hujan tahunan. Dibawah ini disajikan rekapitulasi hasil perhitungan Rank Spearman pada 32 stasiun hujan di DAS Sampean.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data hujan periode Tahun 2002 – 2017 yang tercatat pada 32 Stasiun pencatatan curah hujan tidak terdapat trend, sehingga data hujan yang tersedia dapat digunakan untuk analisa hidrologi berikutnya. Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan curah hujan wilayah menggunakan metode *polygon thiessen*. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut.

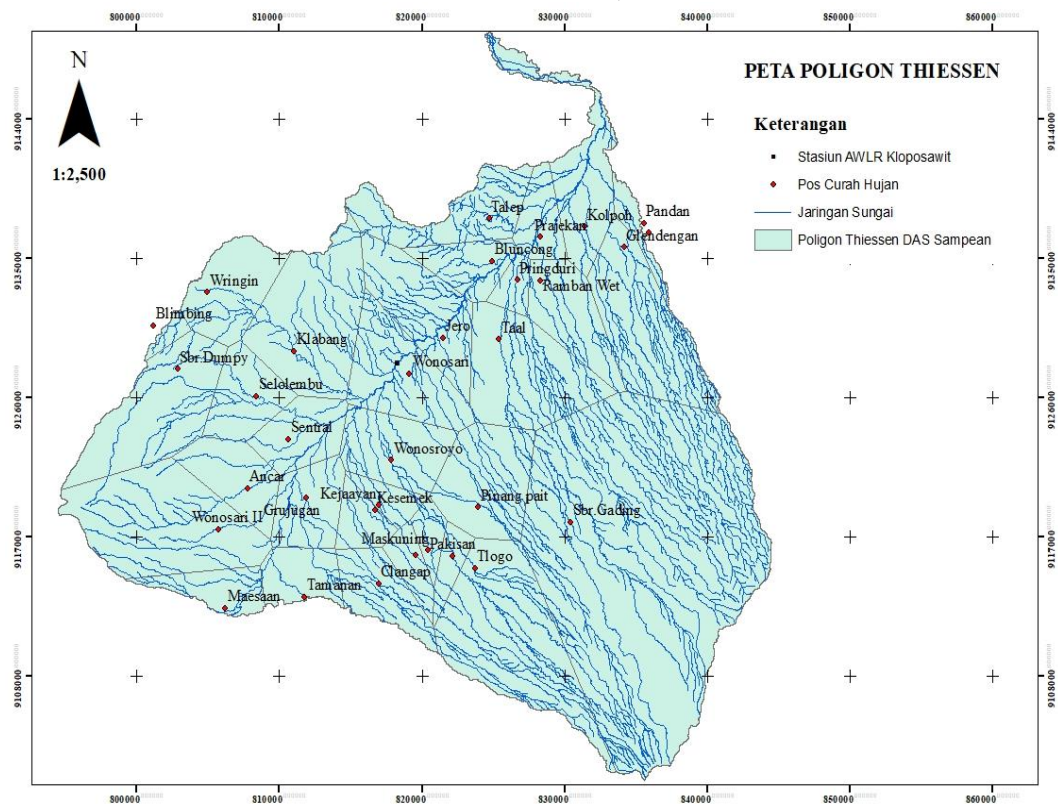
Pada Gambar 7 merupakan hasil penggambaran *polygon thiessen*, untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing stasiun hujan. Sehingga dapat dilakukan

pembobotan pengaruh stasiun hujan dan kemudian dikalikan dengan curah hujan harian pada stasiun hujan tersebut.

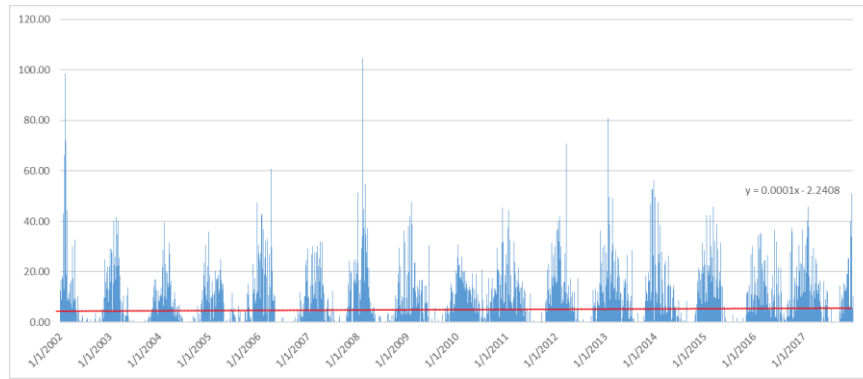
Tabel 2. Rekap perhitungan Rank Spearman pada 32 Stasiun Hujan di DAS Sampean

| No | Stasiun Hujan | Nilai T | | Kesimpulan | No | Stasiun Hujan | Nilai T | | Kesimpulan |
|----|---------------|---------|-------|------------|----|---------------|---------|-------|------------|
| | | Hitung | Tabel | | | | Hitung | Tabel | |
| 1 | Maesan | -1,58 | 2,083 | Diterima | 17 | Pakisan | -1,11 | 2,083 | Diterima |
| 2 | Tamanan | -1,87 | 2,083 | Diterima | 18 | Maskuning | -0,56 | 2,083 | Diterima |
| 3 | Cilangap | -1,54 | 2,083 | Diterima | 19 | Sbr. Dumpy | -1,87 | 2,083 | Diterima |
| 4 | Wonosari II | -1,71 | 2,083 | Diterima | 20 | Wringin | -0,69 | 2,083 | Diterima |
| 5 | Ancar | -0,20 | 2,083 | Diterima | 21 | Blimbing | 0,02 | 2,083 | Diterima |
| 6 | Grujugan | -0,62 | 2,083 | Diterima | 22 | Taal | -1,84 | 2,083 | Diterima |
| 7 | Kejayan | -1,67 | 2,083 | Diterima | 23 | Jero | -1,87 | 2,083 | Diterima |
| 8 | Sukokerto | -1,05 | 2,083 | Diterima | 24 | Pandan | 1,84 | 2,083 | Diterima |
| 9 | Tlogo | -1,52 | 2,083 | Diterima | 25 | Talep | 1,35 | 2,083 | Diterima |
| 10 | Wonosroyo | -1,20 | 2,083 | Diterima | 26 | Prajejan | -0,25 | 2,083 | Diterima |
| 11 | Sentral | -1,71 | 2,083 | Diterima | 27 | Glendengan | 0,37 | 2,083 | Diterima |
| 12 | Selolembu | -1,39 | 2,083 | Diterima | 28 | Ramban Wetan | 1,53 | 2,083 | Diterima |
| 13 | Klabang | -1,78 | 2,083 | Diterima | 29 | Suling Wetan | 1,65 | 2,083 | Diterima |
| 14 | Pinang Pait | -1,03 | 2,083 | Diterima | 30 | Bluncong | -0,46 | 2,083 | Diterima |
| 15 | Sbr. Gading | -0,69 | 2,083 | Diterima | 31 | Pringduri | 0,38 | 2,083 | Diterima |
| 16 | Kesemek | -1,78 | 2,083 | Diterima | 32 | Kolpoh | 1,55 | 2,083 | Diterima |

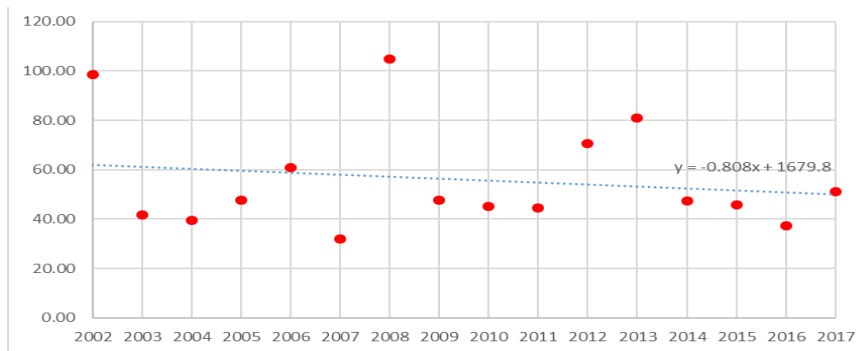
Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 7. Peta Pengaruh Sebaran Stasiun Hujan di DAS Sampean



Gambar 8. Grafik Curah Hujan Wilayah di DAS Sampean Tahun 2002 - 2016



Gambar 9. Curah hujan Wilayah Maksimum Tiap Tahun (2002 – 2017)

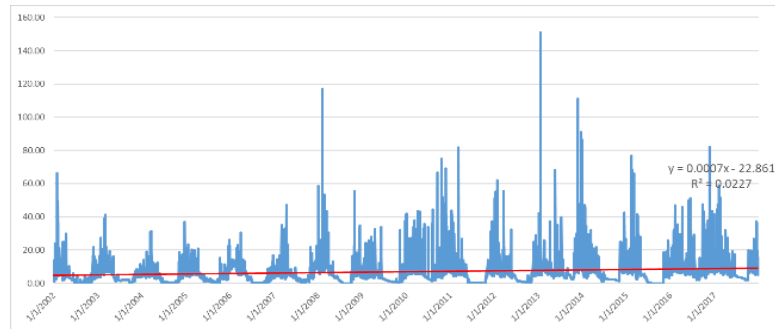
Berdasarkan data hasil analisis curah hujan wilayah selama 16 tahun data (tahun 2002 – 2017), diketahui curah hujan tertinggi terjadi pada Tahun 2002, 2008, 2012 dan 2013. Terjadi tren penurunan pada curah hujan maksimum tahunan wilayah pada DAS Sampean.

Pengolahan Data Debit

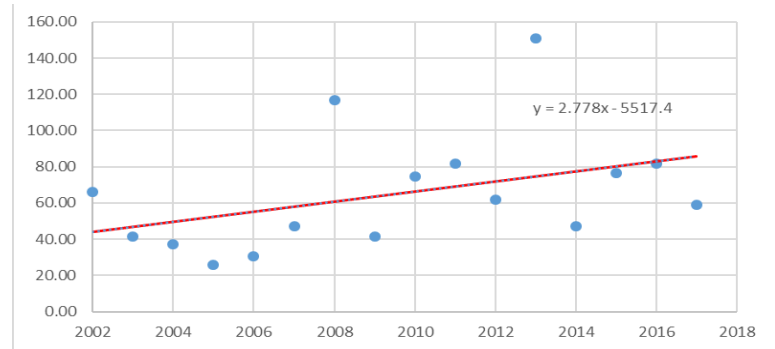
Data pengamatan debit ini bertujuan untuk mengetahui tren perubahan fluktuasi muka air sungai Sampean yang terjadi dalam kurun waktu data pencatatan selama enam belas tahun (Tahun 2002-2017), akibat adanya perubahan tutupan lahan yang terjadi pada DAS Sampean. Berdasarkan AWLR tercatat adanya perubahan aliran atau tinggi muka air sungai yang diakibatkan terjadinya perubahan tutupan lahan di wilayah DAS Sampean, khususnya hulu DAS Sampean yang menjadi *catchment area* AWLR.

Tren data debit pencatatan harian cenderung mengalami peningkatan dari Tahun 2002 -2017. Debit maksimum tahunan dari Tahun 2002- 2017 mengalami tren peningkatan dengan nilai debit maksimum tertinggi terjadi pada Tahun 2013 (150.85 m³/dt), Tahun 2008 (116.18 m³/dt), Tahun 2011 (81.85 m³/dt). Hasil kenaikan debit 16 (selama enam belas) tahun sebesar 4 m³/s, sedangkan berdasarkan data debit maksimum tahunan 16 (selama enam belas) tahun didapatkan kenaikan sebesar 42 m³/s. Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat indikasi peningkatan debit di sungai Sampean benar terjadi.

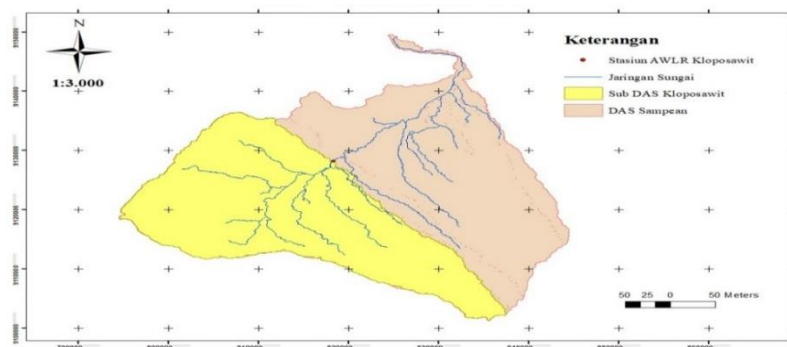
Pada Gambar 12 di bawah ini merupakan lokasi AWLR yang merupakan pos duga air yang data pengamatannya akan digunakan dalam proses kalibrasi pemodelan SWAT.



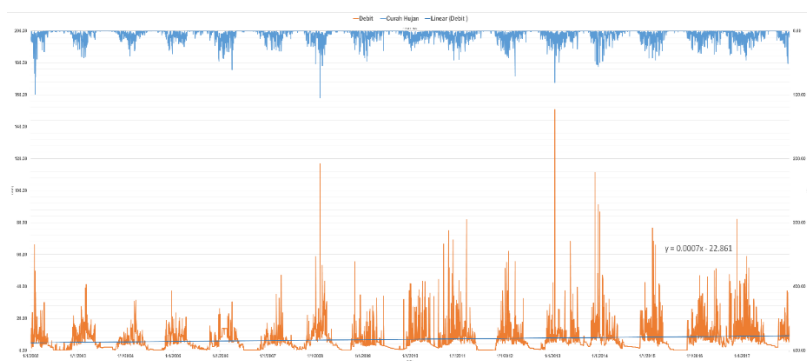
Gambar 10. Grafik Tren Data Debit Observasi Tahun 2002-2017



Gambar 11. Debit Maksimum Tahunan 2002-2017



Gambar 12. Lokasi AWLR dan SUB DAS



Gambar 13. Grafik Tren Data Curah Hujan dan Debit (Tahun 2002 – 2017)

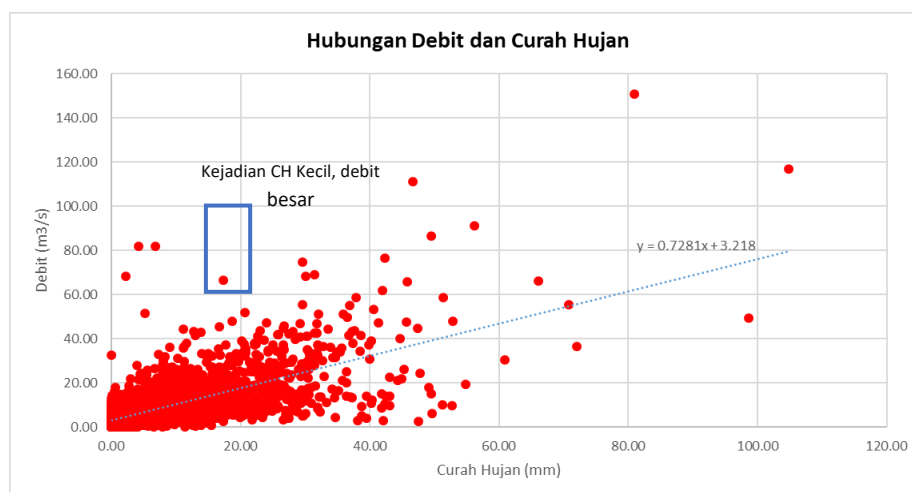
Hubungan Curah Hujan dan Debit

Hubungan hujan dan debit seharusnya memiliki hubungan yang berbanding lurus. Apabila nilai hujan yang turun di suatu wilayah meningkat tentu nilai debit yang dihasilkan akan meningkat, dengan catatan kondisi fisik daerah tangkapan sama. Saat nilai limpasan yang dihasilkan sama dengan nilai hujan yang turun (limpasan = hujan), ini berarti suatu wilayah tidak dapat meresapkan air dengan baik. Artinya semakin kecil limpasan yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan semakin besar kapasitas resapan air suatu wilayah tangkapan. Diketahui Gambar 13 pada wilayah Sub DAS Sampean mengalami kecenderungan adanya peningkatan debit pada kondisi curah hujan maksimum dan curah hujan dengan intensitas sedang. Hal ini dapat diartikan wilayah DAS Sampean bagian hulu mengalami penurunan kemampuan untuk meresapkan air hujan. Berdasarkan Gambar 14 di bawah ini didapatkan hubungan antara debit dan curah hujan dengan persamaan $Y=0,7281X+3,218$ dimana nilai Y menunjukkan variabel debit dan X menunjukkan variabel curah hujan. Saat nilai konstanta di depan variabel hujan (X) semakin mengecil menunjukkan peningkatan hujan dan kapasitas resapan suatu daerah tangkapan, sedangkan saat nilai konstanta di depan

variabel semakin besar menunjukkan kapasitas resapan suatu daerah tangkapan menurun. Berdasarkan nilai konstanta di depan variabel hujan (x) pada persamaan yang didapatkan nilai sebesar 0,7281 yang berarti kapasitas resapan di DAS Sampean menurun. Didapati fenomena yang unik (Gambar 14) dimana terdapat kejadian debit besar dengan curah hujan wilayah yang kecil. Hal tersebut dapat diakibatkan adanya hujan lokal yang tidak tercatat oleh Pos Curah Hujan namun terjadi di DAS Sampean dan mengakibatkan debit yang tercatat meningkat. Hal ini dapat diindikasikan hujan terjadi tidak tersebar secara merata, sehingga tidak dapat dilakukan pembacaan curah hujan secara optimal.

Analisis Tren Perubahan Nilai Kurva Aliran (*Runoff Curve Number*)

Kondisi tutupan lahan Tahun 2016 diketahui nilai *Curve Number* (CN) lahan pemukiman merupakan nilai CN tertinggi yaitu 85, hal ini dikarenakan pada kondisi lahan pemukiman tidak mampu menginfiltrasi tanah, sehingga laju aliran permukaan pada area tersebut akan tinggi. Hasil perhitungan CN komposit pada kondisi tutupan lahan Tahun 2016 yaitu 70.01. Analisis perubahan nilai CN pada kondisi masing-masing data tutupan lahan di DAS Sampean pada Tabel 3.

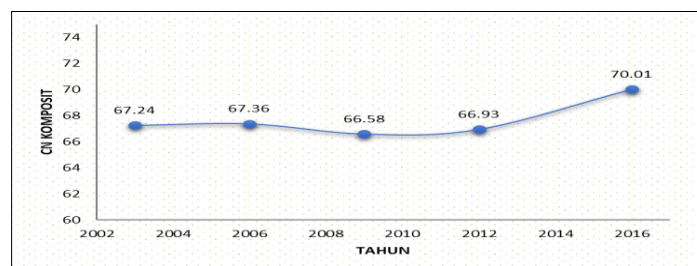


Gambar 14. Grafik Hubungan Debit dan Curah Hujan

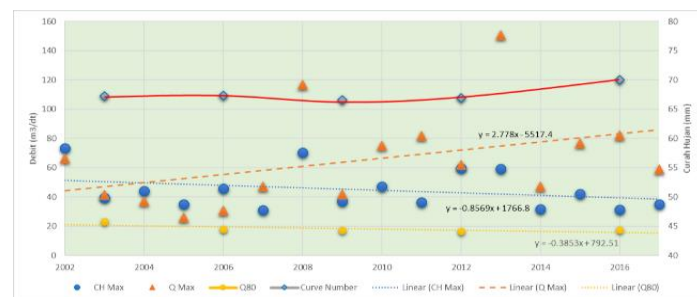
Tabel 3. Nilai CN Pada Masing-masing Jenis Tutupan Lahan di DAS Sampean

| No | Jenis Tutupan Lahan | Tren Nilai CN | | | | |
|----|-------------------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| | | Th. 2003 | Th. 2006 | Th. 2009 | Th. 2012 | Th. 2016 |
| 1 | Hutan Lahan Kering Sekunder | 58 | 59 | 55 | 55 | 55 |
| 2 | Hutan Tanaman | 60 | 60 | 61 | 62 | 67 |
| 3 | Permukiman | 78 | 78 | 78 | 78 | 85 |
| 4 | Perkebunan | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| 5 | Pertanian Lahan Kering | 83 | 83 | 83 | 79 | 81 |
| 6 | Pertanian Lahan Kering Campur | 75 | 75 | 64 | 74 | 75 |
| 7 | Sawah | 67 | 67 | 67 | 67 | 66 |
| 8 | Semak Belukar | 79 | 70 | 73 | 74 | 74 |
| 9 | Tanah Terbuka | 80 | 80 | 81 | 80 | 82 |

Sumber : Hasil Analisis, 2020



Gambar 15. Tren Nilai CN Komposit



Gambar 16. Hubungan CH Max, Debit Max, CN dan Q80

Pada Tahun 2009 terjadi penurunan nilai CN komposit, hal ini dikarenakan adanya program reboisasi lahan pada kawasan hutan lahan kering sekunder, sehingga menambah luasan lahan kawasan hutan.

Peningkatan kebutuhan pemukiman berdampak pada kemampuan tanah untuk menyerap air (infiltrasi) menjadi sangat rendah, dan mengakibatkan nilai CN berubah lebih tinggi. Hal ini terbukti pada tren nilai CN komposit di Tahun 2016. Nilai CN pada Tabel 3 akan digunakan dalam proses kalibrasi pada pemodelan SWAT.

Hubungan Curah Hujan, Debit Observasi, Curve Number dan Debit Andalan (Q80)

Dilihat dari data tutupan lahan yang terjadi selama kurun waktu Tahun 2003-2016 telah mengalami perubahan tutupan lahan pada DAS Sampean.

Perubahan tutupan lahan mampu mempengaruhi keadaan hidrologi pada DAS Sampean, hal ini teridentifikasi dari data pengamatan curah hujan dan debit yang mengalami perlawanan tren data pada masing-masing data pencatatan maksimum dalam satu

tahun. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 16 di bawah ini.

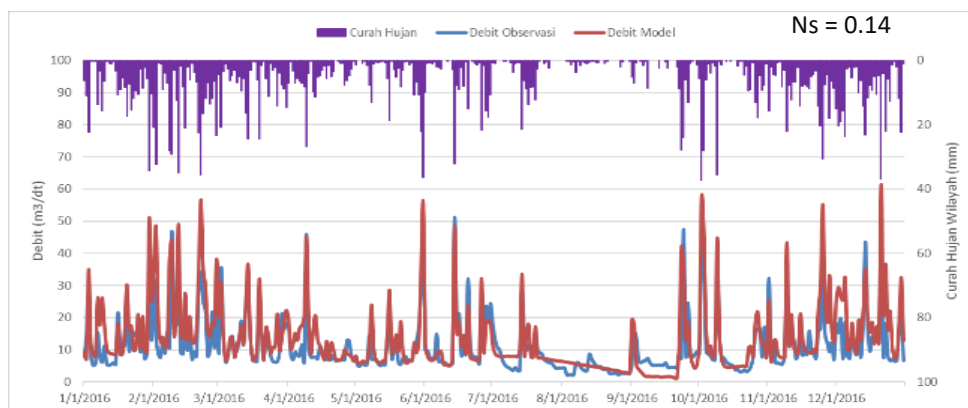
Grafik diatas, mengidentifikasi besarnya debit maksimum tahunan yang terjadi cenderung meningkat. Namun disini lain curah hujan maksimum tahunan terjadi penurunan tren data. Hal ini dapat dijadikan hipotesa bahwa, peningkatan debit yang terjadi akan sejalan dengan perubahan tutupan lahan pada suatu wilayah, yang ditandai dengan adanya peningkatan nilai kurva aliran (curve number) dan terjadi penurunan terhadap debit andalan Q80 pada tahun data tutupan lahan.

Perubahan tutupan lahan yang terjadi pada peningkatan luasan tutupan lahan yang kurang mampu bahkan tidak menyerap air hujan, dapat mengakibatkan meningkatnya limpasan permukaan pada suatu DAS. Limpasan yang terjadi akan berpengaruh terhadap debit aliran sungai. Limpasan yang

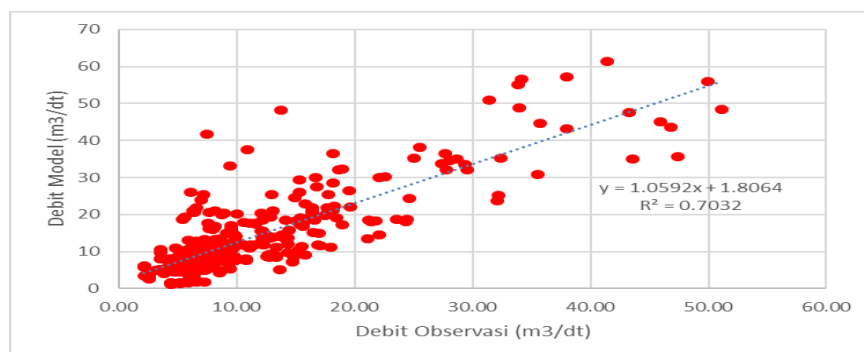
tinggi akan memperbesar debit aliran sungai. Meskipun disini lain peningkatan curah hujan juga sangat berpengaruh terhadap besarnya debit limpasan yang terjadi (Maward, 2010).

Hasil Pemodelan SWAT

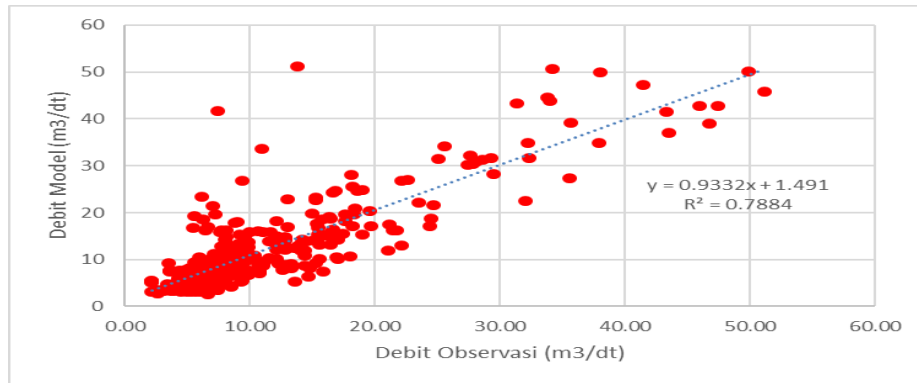
Hasil analisis model SWAT diperoleh data debit air sungai di lokasi outlet pengukuran yang telah ditetapkan dalam pemodelan SWAT. Hubungan antara debit hasil model SWAT dengan hasil pengukuran (observasi) ditunjukkan dengan nilai efisiensi *Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)*, dan koefisien determinasi (R^2). Pemodelan dilakukan dengan pemodelan debit harian pada Tahun 2016. Perbandingan debit model (simulasi) dengan debit pengukuran (observasi) sebelum dilakukan kalibrasi berdasarkan hasil analisa model SWAT disajikan pada Gambar 17 berikut ini.



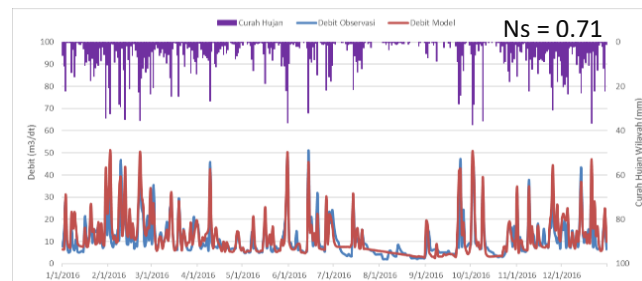
Gambar 17. Grafik Sebelum Kalibrasi (Hasil Analisa ArcSWAT) Kondisi Tutupan Lahan Tahun 2016



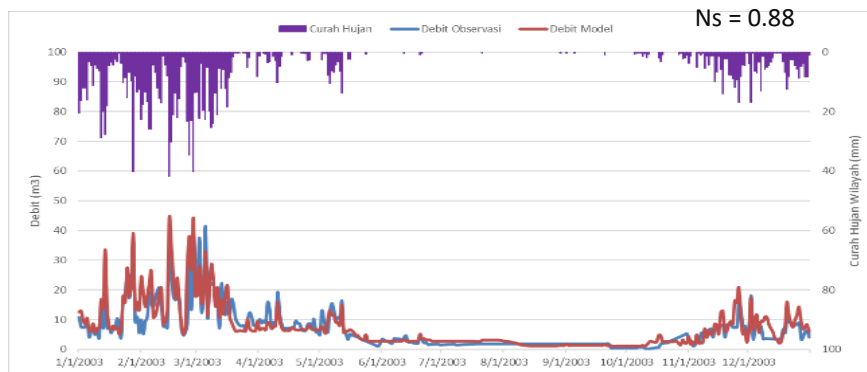
Gambar 18. Scatter plot Sebelum Kalibrasi (Model Kondisi Tutupan Lahan Tahun 2016)



Gambar 19. Kalibrasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016



Gambar 20. Grafik Setelah Kalibrasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016



Gambar 21. Grafik Setelah Validasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016

Data peta tutupan lahan Tahun 2016, data curah hujan dan klimatologi Tahun 2014 – 2017 yang telah dianalisis sesuai kebutuhan pemodelan SWAT. Pada Gambar 17 di atas terlihat pola garis hasil model yang dihasilkan belum memiliki kesamaan dengan pola garis hasil pengukuran lapangan (observasi). Hasil simulasi model sebelum dikalibrasi menunjukkan nilai $NS = 0.14$ yang artinya

kurang memuaskan dan hubungan Koefisien deterministik atau *R square* antara debit model hasil simulasi dengan debit pengukuran.

Nilai koefisien deterministik $R^2 = 0,7032$, seperti ditunjukkan pada Gambar 18. Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa hasil simulasi model masih jauh dari kondisi yang sebenarnya di lapangan sehingga perlu dilakukan proses kalibrasi.

Kalibrasi dilakukan dengan tujuan agar keluaran model sesuai dengan yang ada di lapangan.

Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter guna meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati dengan hasil simulasi. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi suatu model dapat berbeda antar suatu DAS, karena setiap DAS memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial (Bina & Das, 2015) pada umumnya parameter sensitif terhadap debit aliran pada program ArcSWAT terdiri dari CN2, ESCO, GWQMN, ALPHA_BF, GWDELAY, CH_N2, dan CH_K2. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi manual atau penyesuaian nilai parameter menggunakan metode *trial and error*. Nilai koefisien deterministik R^2 (0,788) mendekati 1 artinya hubungan antara debit hasil model (prediksi) dengan debit hasil pengukuran (observasi) sangat erat. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan diperoleh nilai efisiensi (NSE) menunjukkan nilai 0,71, termasuk kriteria sangat baik.

Hasil kalibrasi tersebut nilai NSE menunjukkan tingkat performa sangat baik, maka nilai parameter optimal tersebut dapat digunakan untuk proses validasi pada tahun lainnya.

Validasi Model

Validasi model merupakan proses yang dilakukan untuk menilai tingkat ketidakpastian suatu model. Validasi dilakukan dengan menjalankan model menggunakan parameter optimum yang digunakan dalam kalibrasi dan membandingkannya dengan data observasi. Validasi dilakukan pada data tutupan lahan Tahun 2003. Hal tersebut dilakukan untuk melihat keakuratan model SWAT pada tahun lainnya. Proses validasi menghasilkan nilai (NSE) dan koefisien determinasi (R^2). Hasil

tersebut menunjukkan hubungan antara debit model dengan debit observasi yang erat, sehingga model dapat dikatakan valid.

Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Sungai Sampean

Perubahan tutupan lahan yang terjadi pada suatu DAS dapat merubah respon hidrologi DAS tersebut (Nugroho et al., 2018). Perubahan tutupan lahan DAS Sampean pada Tahun 2003 sampai tahun 2016 berpengaruh terhadap total air (WYLD), aliran dasar (GW_Q), dan aliran permukaan (SUR_Q) serta Qmax dan Qmin. Selain itu juga berpengaruh terhadap fluktuasi debit DAS Sampean antara lain debit maksimum dan debit minimum. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit di Sungai Sampean dalam periode Tahun 2003-2016. Penurunan lahan sawah, diikuti dengan peningkatan lahan pertanian lahan kering, dan pemukiman selama Tahun 2003-2016 telah berpengaruh terhadap kondisi debit Sungai Sampean. Aliran permukaan (SUR_Q) Tahun 2003 menunjukkan 582.60 mm meningkat menjadi 618.24 mm. Aliran permukaan meningkat sebesar 35.81 mm (6.12%). Peningkatan juga terjadi pada total air sungai (WYLD) sebesar 114 mm (8.08%). Penurunan terjadi pada aliran dasar sebesar 104.99 mm (26.46%), semula aliran dasar pada Tahun 2003 sebesar 396.50 mm menurun menjadi sebesar 291.57 mm pada Tahun 2016. Perubahan tutupan lahan juga berpengaruh terhadap fluktuasi debit aliran DAS Sampean. Perubahan penggunaan lahan sawah menjadi lahan pertanian kering, dan pemukiman berpengaruh terhadap peningkatan debit maksimum dan peningkatan sedikit debit minimum. Pada dasarnya dapat disimpulkan bahwa bentuk penggunaan lahan pada suatu daerah sangat mempengaruhi besaran debit sungai. Namun debit bukan satu-satunya ukuran dalam menentukan pola penggunaan lahan optimum pada suatu DAS (Setyowati, 2010). Parameter

lain yang menjadi pertimbangan antara lain nilai erosi, kualitas air, beban sedimen, pertimbangan ekonomi, sosial budaya, politik dan lain sebagainya (Mubarak et al., 2014)

Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Aliran Hasil korelasi pearson menggunakan aplikasi SPSS (Statistical Product and Service Solutions) yang bertujuan bertujuan untuk mengetahui hubungan antara perubahan tutupan lahan yang terjadi terhadap debit aliran. menunjukkan pada jenis tutupan lahan yang memiliki hubungan dengan perubahan debit yang terjadi di DAS Sampean.

Korelasi Pearson antara debit (Y) dengan variabel hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, perkebunan, pertanian lahan kering campuran dan sawah berkorelasi negatif. Artinya, setiap adanya peningkatan luas lahan tersebut akan menyebabkan penurunan debit aliran. Sebaliknya pemukiman, pertanian lahan kering, semak/belukar dan tanah terbuka berkorelasi

positif terhadap besarnya debit aliran sehingga bila terjadi peningkatan luas tutupan lahan tersebut akan meningkatkan pula terjadinya debit aliran. \

Arahan Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Bondowoso Peta Rencana Pola Ruang yang dituangkan didalam RTRW Kabupaten Bondowoso Tahun 2011-2031 (Bappeda Kabupaten Bondowoso, 2011). Bagian hulu DAS Sampean, dilakukan pengecekan kesesuaian lahan eksisting terhadap rencana tata ruang wilayah yang telah ditetapkan berdasarkan peta pola ruang rencana.

Hal ini bertujuan agar dapat dilakukan pengendalian apabila kondisi lahan eksisting telah mengalami perubahan atau tidak sesuai dengan rencana tata ruang. Kondisi hidrologi pada kondisi peta rencana pola ruang RTRW Kabupaten Bondowoso dapat diketahui dengan analisis SWAT pada Tabel 7.

Tabel 4. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Aliran Sungai Sampean

| Tahun | Curah Hujan (mm) | Aliran Permukaan (SUR_Q) | Aliran Dasar (GW_Q) | Total Air Sungai (WYLD) | Q Max (m ³ /dt) | Q Min (m ³ /dt) |
|-------|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2003 | 1.539,45 | 582,43 | 396,56 | 1.412,47 | 44,27 | 1,00 |
| 2016 | 2.357,29 | 618,24 | 291,57 | 1.526,47 | 60,20 | 1,14 |

Sumber: Hasil Analisis SWAT, 2020

Tabel 5. Output Korelasi Pearson menggunakan SPSS

| | Debit | Hutan Lahan Kering Sekunder | Hutan Tanaman | Pemukimar | Perkebunan | Pertanian Lahan Kering | Pertanian Lahan Kering Campuran | Sawah | Semak/ Belukar | Tanah Terbuka |
|---------------------|-------|-----------------------------|---------------|-----------|------------|------------------------|---------------------------------|-------|----------------|---------------|
| Debit | 1 | -.148 | -.152 | .750 | -.301 | .951* | -.613 | -.702 | .155 | .410 |
| Pearson Correlation | | | | | | | | | | |
| Sig.(2-tailed) | | .812 | .812 | .144 | .622 | .013 | .272 | .187 | .803 | .493 |
| N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Sumber: Hasil Analisis menggunakan SPSS, 2020

Tabel 6. Perbedaan Luas Jenis Tutupan Lahan Rencana Pola Ruang dan Kondisi Tahun 2016

| No | Jenis Tutupan Lahan | Luas Tutupan Lahan (Ha) | Perbedaan Luas |
|----|---------------------|-------------------------|----------------|
|----|---------------------|-------------------------|----------------|

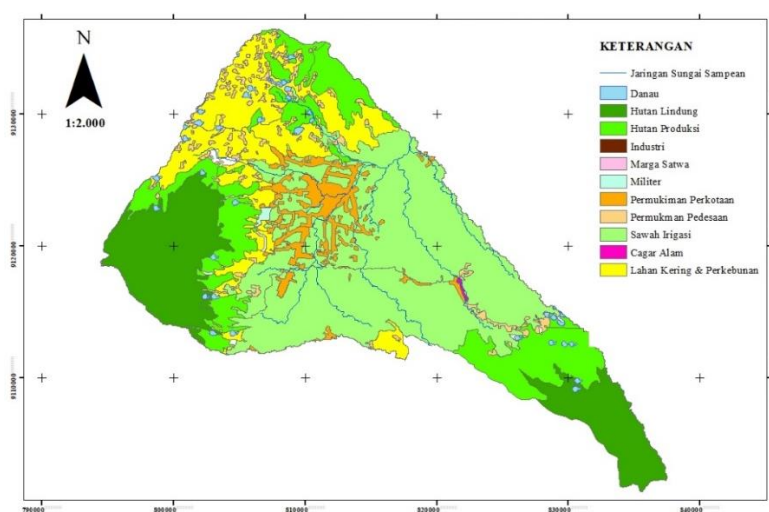
| | Pola Ruang | Tutupan Lahan | Pola Ruang | Tahun 2016 | Luas (Ha) | Luas (%) |
|----|---------------------------|-----------------------------------|------------|------------|-----------|----------|
| 1 | Danau | | 974,64 | | | |
| 2 | Hutan Sekunder | Hutan Lahan | 11836,13 | | | |
| 3 | Marga Satwa | Kering | 3,46 | 5660,73 | -6220,28 | -52,35 |
| 4 | Cagar Alam | Sekunder | 41,42 | | | |
| 5 | Hutan Produksi | Hutan Tanaman | 12026,71 | 21195,4 | 9168,72 | 76,24 |
| 6 | Industri | | 281,06 | | | |
| 7 | Militer | | 93,88 | | | |
| 8 | Permukiman Perkotaan | Permukiman | 3091,35 | 5877,01 | -1175,26 | 16,66 |
| 9 | Permukiman Perdesaan | | 3585,98 | | | |
| 10 | Sawah | | 415,18 | | | |
| 11 | Sawah Irigasi | Sawah | 25926,39 | 20359,5 | -5982,4 | 22,71 |
| | | Pertanian | | | | |
| 12 | Lahan Kering & Perkebunan | Lahan Kering, Campuran Perkebunan | 9712,29 | 13829,7 | 4117,47 | 42,39 |
| 13 | - | Semak/belukar | | 791,21 | - | - |
| 14 | - | Tanah Terbuka | | 274,82 | - | - |
| | Total | | 67988,48 | 67988,4 | | |

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 7 Kondisi Hidrologi Berdasarkan Rencana Pola Ruang di Hulu DAS Sampean

| Tahun | Curah Hujan (mm) | Aliran Permukaan (SUR_Q) | Aliran Dasar (GW_Q) | Total Air Sungai (WYLD) | Q Max (m ³ /dt) | Q Min (m ³ /dt) | Nilai CN Komp osit |
|--------------------|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Rencana Pola Ruang | 2357,29 | 534,56 | 545,41 | 1452,39 | 54,74 | 1,49 | 68,98 |

Sumber: Analisis Data, 2019



Gambar 21 Peta Rencana Pola Ruang Lingkup Hulu DAS Sampean

Berdasarkan hasil Analisa diatas, dapat diketahui adanya penurunan nilai CN komposit pada hulu DAS Sampean menjadi 68.98, sedangkan pada kondisi eksisting di tahun 2016 sebesar 70.01.

Hal ini berarti kondisi tutupan lahan di DAS Sampean pada kondisi eksisting tahun 2016, telah tidak sesuai dengan arahan peta rencana pola ruang yang telah ditetapkan.

SIMPULAN

Perubahan tutupan lahan DAS Sampean periode tahun 2003 – 2016, telah terjadi alih fungsi lahan di berbagai jenis tutupan lahan. Perubahan yang cukup signifikan terjadi pada lahan sawah, di mana terjadi penurunan sebesar 10.810,71 hektar. Hal ini mengindikasikan terjadinya peningkatan pada jenis tutupan lahan lain. Perubahan terbesar kedua terjadi pada lahan permukiman di mana terjadi penambahan luas sebesar 6.601,58 hektar. Penambahan luas pada lahan permukiman menunjukkan adanya peningkatan jumlah penduduk di wilayah DAS Sampean. Perubahan terbesar ketiga adalah jenis tutupan pertanian lahan kering yang mengalami peningkatan sebesar 6.363,60 hektar. Didapatkan hasil kenaikan debit 16 (selama enam belas tahun) sebesar 4 m³/s. Sedangkan berdasarkan data debit maksimum tahunan selama enam belas tahun didapatkan kenaikan sebesar 42 m³/s, sedangkan kondisi curah hujan yang tercatat dari tahun 2002 - 2017 pada wilayah DAS Sampean mengalami tren penurunan. Selama periode tahun 2003 - 2016 terjadi peningkatan aliran permukaan (SUR_Q) sebesar 35.81 mm (6.12%). Peningkatan juga terjadi pada total air sungai (WYLD) sebesar 114 mm (8.08%). Penurunan terjadi pada aliran dasar sebesar 104.99 mm (26.46%). Penurunan aliran dasar diindikasikan karena kemampuan infiltrasi lahan yang menurun sehingga lahan tidak mampu menyerap air secara maksimal pada musim hujan dan mengeluarkan sebagai aliran dasar (*baseflow*) pada musim kemarau.

Adanya penurunan nilai CN komposit pada hulu DAS Sampean menjadi 68.98 pada kondisi pola ruang RTRW Kabupaten Bondowoso, sedangkan pada kondisi eksisting di tahun 2016 sebesar 70.01. Hal ini berarti kondisi tutupan lahan di DAS Sampean pada kondisi eksisting tahun 2016, telah tidak sesuai dengan arahan peta rencana pola ruang yang telah ditetapkan. Penurunan nilai CN komposit juga mengakibatkan perubahan pada parameter karakteristik hidrologi lainnya di DAS Sampean seperti aliran permukaan, total air sungai Q max yang menurun, sedangkan aliran dasar dan Q min mengalami peningkatan DAS Sampean berperan dalam pemenuhan kebutuhan air masyarakat Kabupaten Bondowoso, terutama dalam pemenuhan air untuk kebutuhan irigasi. sehingga dalam pengelolaan daerah hulu DAS Sampean perlu diantisipasi terhadap perubahan tutupan lahan yang masif, yang dapat mempengaruhi fluktuasi debit aliran sungai Sampean.

DAFTAR PUSTAKA

- Altman, D. G., & Crc, H. (2007). Medical research. In *Public Health* (Vol. 51, Issue C, pp. 199–200). [https://doi.org/10.1016/S0033-3506\(37\)80071-2](https://doi.org/10.1016/S0033-3506(37)80071-2)
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai [Hydrology and Watershed Management]* (5th ed.). UGM Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). Klasifikasi Penutup Lahan. *Sni 7654, 2010*, 1–28.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2020). Data jumlah Penduduk Kabupaten Bondowoso 1998-2019. Surabaya.
- Bappeda Kabupaten Bondowoso, (2011). *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bondowoso 2011-2031*. Bondowoso.
- Bina, D. J., & Das, A. P. (2015). *Pemanfaatan*

Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS.

- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- El-Sadek, A., & Irvem, A. (2014). Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 515–530. <https://doi.org/10.3906/tar-1309-89>
- Halik, G., Wahyuni, S., Sipil, J. T., Jember, U., Sipil, J. T., Jember, U., Sipil, J. T., & Jember, U. (2010). 2 . *TINJUAN PUSTAKA Teknologi Penginderaan Jauh*. 4(KoNTekS 4), 2–3.
- Kusuma, M. S. B., Kuntoro, A. A., & Silasari, R. (2011). Preparedness Effort toward Climate Change Adaptation in Upper Citarum River Basin, West Java, Indonesia. *Society for Social Management Systems Internet J Ournal*, 7(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/59110673.pdf>
- Maward, I. (2010). Daya Dukung Sumber Daya Air di Pulau Jawa. 5(2), 1–11.
- Mubarok, Z., Anwar, S., Murtalaksono, K., & Wahjunie, E. D. (2014). Skenario Perubahan Penggunaan Lahan Di Das Way Betung Sebuah Simulasi Karakteristik Hidrologi Menggunakan Model SWAT. In *Pengelolaan DAS Terpadu Untuk Kesejahteraan Masyarakat*.
- Nugroho, S. P., Tarigan, S. D., & Hidayat, Y. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Dan Debit Aliran Di Sub Das Cicatih. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 258–263. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.258-263>
- Setyowati, D. L. (2010). Hubungan Hujan dan Limpasan Pada Sub DAS Kecil Penggunaan Lahan Hutan, Sawah, Kebun Campuran di DAS Kreo. *Forum Geografi*, 24(1), 39. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v24i1.5014>
- Ullrich, A., & Volk, M. (2009). Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1207–1217. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.010>
- Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., & Arnold, J. (2013). ArcSWAT Interface For SWAT2012: User's Guide. *Texas Agricultural Experiment Station and United States Department of Agriculture, Temple, TX*.